

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ

до виконання індивідуальних завдань з курсу

**«ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЇ
ОЧИЩЕННЯ ВОДИ»**

(для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання
напряму підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»)

ХАРКІВ ХНАМГ 2008

Методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з курсу «Теоретичні основи технології очищення води» (для студентів 3 курсу денної і заочної форм навчання) напряму підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)» / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Берещук М.Я., Тихонюк-Сидорчук В.О. – Х.: ХНАМГ, 2008. – 31 с.

Укладачі: М.Я. Берещук,
В.О. Тихонюк-Сидорчук

Рецензент: доц. В.О. Ткачов

Рекомендовано кафедрою водопостачання, водовідведення та очистки вод,
протокол № 1 від 30 вересня 2007 р.

ЗМІСТ

	Стор.
Вступ.....	4
1. Загальні положення.....	5
2. Основні вимоги до оформлення індивідуальних завдань.....	7
3. Організація та послідовність виконання основної частини індивідуальних завдань.....	9
4. Методика розрахунку апаратів для електрохімічного очищення природних і стічних вод.....	10
4.1. Розрахунок електрокоагуляторів для очищення стічних вод, які містять емульсовані масла.....	10
4.1.1. Розрахунок електрокоагулятора періодичної дії.....	10
4.1.2. Розрахунок електрокоагулятора безперервної дії.....	12
4.2. Розрахунок електроапаратів для очищення стічних вод, що містять ціаніди та іони кольорових металів.....	14
4.2.1. Розрахунок електролізера для обробки стічних вод, що містять ціаніди.....	14
4.2.2. Розрахунок електрокоагулятора для очищення стічних вод, що містять іони кольорових металів.....	16
4.3. Розрахунок електрокоагулятора для очищення природних вод.....	18
5. Розрахунок об'єму водню, який виділяється в процесі електролізу.....	22
6. Розробка принципової технологічної схеми очисних споруд.....	23
Висновки.....	25
Список літератури.....	26
Додаток 1.....	27
Додаток 2.....	28
Додаток 3.....	29
Додаток 4.....	29
Додаток 5.....	30
Додаток 6.....	30

ВСТУП

У різних галузях промисловості і комунальному господарстві широко використовуються електрохімічні методи обробки води – електрокоагуляція, електрохімічна деструкція, електрофлотація, електродіаліз, електроосмос, електрофорез, електрофільтрування та ін. Така увага до електрохімічних методів очищення природних і стічних вод обумовлена можливістю ефективного вилучення забруднень і домішок мінерального, органічного та біологічного походження, що знаходяться у вигляді завислих частинок, молекулярних, колоїдних або іонних розчинів. Методи електрохімічної обробки води використовують для очищення стічних вод від СПАР, барвників, жирів, нафтопродуктів, солей важких металів в текстильній та легкій промисловості, машинобудуванні, целюлозно-паперовій, хімічній, радіоелектронній та переробних галузях.

У технології очищення природних вод електрохімічні методи використовують для вилучення біологічних домішок (синьо-зелених водоростей, бактерій) та речовин, що надають воді запах, присмак та кольоровість. Крім того, досягається високий ефект знезалізення, опріснювання, дефторування, очищення від сірководню, селену, стронцію та інших домішок природних вод.

Процес очищення здійснюється у простих, компактних, автоматизованих апаратах, що не потребують значної площі для розміщення технологічної лінії.

Ефективність очищення для електрокоагуляційного методу складає за завислими речовинами 80-98%, жирами – 95-99%, нафтопродуктами – 95-98%, ХСК – 85-95%, хромом – 85-100%, фенолом – 100%. При обробці природних вод кольоровість практично повністю усувається. Високий ефект електрохімічного очищення забезпечує можливість повторного використання очищеної води в технічному водопостачанні, скидання обробленої води до системи водовідведення міста, а також зниження оплати промислових підприємств за скидання забруднень.

Незважаючи на вказані переваги, електрохімічні методи мало вивчені, конструкції апаратів відносять до нестандартного обладнання, мають авторський характер, а технологічні схеми очищення є експериментальними.

Найбільш вивченими й розповсюдженими в практиці очищення стічних вод є методи електрокоагуляції, електрофлотації та електрохімічної деструкції забруднень.

Розрахунки електрокоагуляторів, електрофлотаторів та електролізерів забезпечені науковою та нормативно-конструкторською базою, що обумовлює можливість виконання студентами індивідуальних завдань на тему: «Очищення природних і стічних вод електрохімічним методом».

Метою методичних вказівок є надання студентам методичної допомоги в закріпленні теоретичних знань з дисципліни **«Теоретичні основи технології очищення природних і стічних вод»** на прикладі розрахунку апарата для електрохімічного очищення природних і стічних вод та оволодіння основами конструювання технологічних схем.

1. ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Індивідуальні завдання виконують в чотирьох напрямках:

1. Очищення стічних вод, що містять емульсовані масла й нафтопродукти (відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини – МОР). Для цієї категорії стічних вод проектують електрокоагулятори періодичної та безперервної дії. В них застосовують стандартні електродні пластини з алюмінієвого сплаву.

2. Очищення стічних вод, що вміщують ціаніди. При цьому варіанті проектують електролізери, в яких анод виконано у вигляді плит або стержнів з графітонованого вугілля, а катод у вигляді сталених пластин.

3. Очищення стічних вод із вмістом кольорових металів (Cr^{6+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+}). Для знешкодження кольорових металів слід проектувати електрокоагулятори зі сталеними пластинчастими електродами.

4. Очищення природних вод від каламутності, кольоровості, сполук кремнію, сполук заліза, розчиненого кисню, водоростей, бактерій.

Варіанти завдань наведені у додатках 3-6.

Для виконання завдань **студенти повинні знати:**

- закони Фарадея;
- теоретичні основи протікання електрохімічних реакцій на межі розподілу фаз електрод-розчин електроліту;
- кінетику електродних процесів, що проходять при очищенні стічних вод (вплив густини струму, матеріалу електродів, температури електроліту, рН середовища, солевого складу) ;
- схеми з'єднання електродів;
- фактори, що визначають оптимальний режим процесу електрокоагуляції, електрофлотації, електрохімічної деструкції;
- принципи побудови апаратів для електрохімічного очищення природних і стічних вод;
- основи вибору електродних матеріалів;
- заходи щодо усунення пасивації електродів;
- основи розрахунку технологічних та конструктивних параметрів з пластинчастими електродами;
- принципи проектування технологічних схем очищення;
- основи забезпечення безпечної роботи електроапаратів;
- вимоги ЄККД щодо оформлення результатів розрахунків та графічного матеріалу.

У результаті виконання індивідуальних завдань **студенти повинні вміти:**

- виконати теоретичне обґрунтування вибору електрохімічного апарату і технологічної схеми очищення природних і стічних вод;
- дати оцінку якісних і кількісних показників води, що обробляється з метою вибору методу очищення та матеріалу електродів;
- написати реакції, що протікають у процесі електрохімічного очищення на електродах та в електроліті;
- визначити фактори та діапазон їх варіювання, що забезпечують оптимальний режим очищення;

- виконати розрахунок питомої витрати електрики, величини струмового навантаження на електроди, кількість електродів у блоці, масу та об'єм електродного блоку, габарити електроапарата, об'єм водню, що виділяється в атмосферу, концентрацію водню у виробничому приміщенні, витрату металу електродів на об'єм оброблюваної рідини, тривалість роботи електродної системи та ін.;
- навести результати розрахунку в формі, доступній для аналізу (у вигляді таблиці, рисунка);
- зобразити принципову технологічну схему у вигляді рисунку;
- визначити технологічні параметри, що підлягають автоматизації;
- дати технічну оцінку ефективності роботи розробленого апарата і технологічної схеми;
- накреслити принципову технологічну схему з урахуванням вимог ЄККД на аркуші формату А4;
- оцінити можливість повторного використання очищеної води та утилізації корисних компонентів.

Підвищення якості освіти в рамках Болонського процесу потребує впровадження додаткових видів самостійних робіт, до яких належать розрахункові індивідуальні завдання та розрахунково-графічні роботи. При вивченні модуля «теоретичні основи технології очистки вод» ці види самостійної роботи, незалежно від форми навчання, обов'язково оцінюються викладачем відповідною кількістю кредитів і включаються в підсумковий результат оцінки рівня досягнень студентів. Тому результати виконання завдань повинні бути оформлені відповідно до вимог, викладених у розділі 2 методичних вказівок і здаватися для перевірки викладачу в термін, установлений навчальною робочою програмою дисципліни.

2. ОСНОВНІ ВИМОГИ ДО ОФОРМЛЕННЯ ІНДИВІДУАЛЬНИХ ЗАВДАНЬ

Розрахункова частина повинна мати 10-12 сторінок рукописного тексту на одній сторінці аркуша формату А4. Рисунки і таблиці записки повинні виконуватися на аркушах формату А4.

Індивідуальні завдання мають такі структурні частини:

- титульний аркуш;
- завдання на виконання розрахунків за підписом викладача;
- зміст;
- вступ;
- основну частину;
- висновки;
- список використаної літератури і нормативних джерел.

Титульний аркуш оформляють за зразком (див. додаток 1) і включають до загальної нумерації завдання. Нумерацію проставляють, починаючи з другого аркуша (завдання). До захисту приймається оформлена робота з особистим підписом студента і датою на титульному аркуші.

Завдання на проектування оформлюють відповідно до варіанта. При цьому заповнюють типову форму (див. додаток 2). Варіант завдання для кожного студента визначає викладач відповідно до кількості студентів за додатками

Вступ повинен містити оцінку сучасного стану екології водних об'єктів України, техніки та технології очищення природних і стічних вод відповідної категорії, можливості використання очищених стічних вод в технічному водопостачанні та утилізації корисних компонентів, вплив забруднень на навколишнє середовище та інших аспектів, що підкреслюють актуальність проблеми.

Необхідно також посилатися на нормативно-правові документи України, в тому числі регіональні, з охорони навколишнього середовища і раціонального природокористування, до яких найбільш близька тематика, або в рамках якої виконується індивідуальне завдання. У вступі чітко формулюють і записують мету та завдання проектування. Обсяг «Вступу» не повинен перевищувати однієї сторінки.

Текст основної частини записки повинен бути розділений на розділи, підрозділи, пункти та пронумерований арабськими цифрами, наприклад, 1.2 – другий підрозділ першого розділу. Усі розділи слід починати з нової сторінки. Ілюстрації повинні бути виконані відповідно до вимог ЄККД, вміщені після першого посилання на них і розташовані так, щоб їх було зручно розглядати без повороту записки або з поворотом за годинниковою стрілкою.

Ілюстрації позначають словом «Рис.» з номером розділу та порядковим номером рисунка у межах розділу, наприклад, рис.2.1 – перший рисунок другого розділу. Назва рисунка повинна бути короткою. Назву розташовують під рисунком разом з роз'яснювальними позначеннями.

Таблиці повинні мати заголовок (назву). Перед заголовком в одному ряду розміщують надпис «Таблиця» із зазначенням номера таблиці в межах розділу, наприклад, таблиця 1.2 – друга таблиця першого розділу. Узагальнення результатів розрахунку або теоретичного обґрунтування доцільно проводити за допомогою

таблиць. Це сприяє скороченню текстової частини і полегшує аналіз результатів роботи.

Твердження авторів або цифрові дані, що використовуються при розрахунках, повинні супроводжуватись посиланням на джерело-довідник, СНіП, статтю і т.д. Посилання на джерело проставляють у квадратних дужках із зазначенням порядкового номера арабськими цифрами, що відповідають номеру джерела, наведеного в розділі «Список використаних джерел».

Висновки повинні містити короткі узагальнення з роботи в цілому та розділах основної частини, що підтверджують виконання мети і вирішення завдань проектування конкретними даними. Обсяг висновків має бути в межах двох сторінок рукописного тексту.

До списку використаних джерел повинні включатися: технічна література, довідники, нормативно-правові матеріали, на які в тексті є посилання.

При виконанні розрахунково-пояснювальної записки на персональному комп'ютері треба дотримуватися таких вимог:

- текст виконується на дискеті розміром 3,5 дюйма за допомогою редактора Microsoft Word for Windows;
- основний текст повинен бути набраний шрифтом Times New Roman (нормальний), розмір шрифту – 14 пунктів, відстань між рядками – один інтервал;
- текст друкують на одному боці аркушів формату А4;
- абзаци виконують з проміжком (червоний рядок) від лівого краю на відстані 1,5 см;
- поля повинні складати (при нормальному розташуванні аркуша): зліва – 2 см.
- текст повинен займати площу розміром 160 x 247 мм. Кількість рядків на сторінці з одним інтервалом повинна складати близько 40;
- назву розділів друкують зверху напівжирним шрифтом з вирівнюванням тексту по центру.

Графічну частину виконують на аркушах формату А4. На аркушах розташовують технологічну схему, схему електролізера, специфікацію або експлікацію споруд, обладнання, умовні позначення потоків води, осаду, піни та технічну характеристику електролізера.

3. ОРГАНІЗАЦІЯ ТА ПОСЛІДОВНІСТЬ ВИКОНАННЯ ОСНОВНОЇ ЧАСТИНИ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ

Основна частина роботи повинна включати не менше трьох розділів:

- 1) теоретичне обґрунтування вибору методу та складу споруд технологічної схеми очищення природних або стічних вод*;
- 2) розрахунок електроапарата;
- 3) розробка технологічної схеми очищення.

Для виконання завдання необхідно забезпечити інформаційну базу відповідного до варіанта завдання. Список літератури і нормативних джерел наведено в розділі «Література». Слід мати на увазі, що найбільш сучасні технічні рішення розміщуються у спеціальних науково-технічних журналах: «Химия и технология воды», «Водоснабжение и санитарная техника», «Экотехнологии и ресурсосбережение».

Серед альтернативних електрохімічному методу слід розглянути реагентні, іонообмінні, сорбційні, біологічні методи, в тому числі сполучення декількох методів. При оцінці методів очищення та визначенні складу споруд (апаратів, обладнання) треба враховувати такі фактори: продуктивність споруд, концентрація забруднення, вимоги до очищеної води, можливість утилізації корисних компонентів і повторного використання стічних вод, необхідну площу під очисні споруди, можливість механізації та автоматизації процесу очищення, питомі показники витрат енергоресурсів, економічні показники та ін.

Після вибору та обґрунтування електрохімічного методу необхідно розглянути типи електроапаратів (електролізерів, електрокоагуляторів, електрофлотаторів, електрофлотокоагуляторів) і конструкції, в тому числі комбіновані, що забезпечують потрібну ефективність очищення. Потім виконують розрахунок апарата, що найбільш відповідає умовам завдання. При цьому слід написати можливі реакції, що протікають на катодах, анодах та в електроліті в процесі очищення, викласти теоретичні основи електрохімічної обробки води, вплив різних факторів (рН середовища, температури, концентрації забруднення, густини струму, тривалості електролізу) та визначити оптимальні умови.

Після визначення типу апарата, його габаритів, оптимальних технологічних параметрів процесу очищення починають komponувати технологічну схему. Для порівняння слід розглянути за літературними джерелами схеми електрохімічного очищення такої або близької за складом категорії стічних вод.

Якщо технологічний процес очищення здійснюється з коректуванням рН електроліту або солевого складу, то необхідно на схемі показати реагентне господарство. Запропоновану технологічну схему подають окремо на аркуші формату А4. При описі роботи технологічної схеми слід рекомендувати параметри, що підлягають автоматизації.

На цьому виконання основної частини проекту закінчується.

* Теоретичне обґрунтування виконується на основі самостійної роботи з модуля відповідно до рекомендацій викладача.

4. МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ АПАРАТІВ ДЛЯ ЕЛЕКТРОХІМІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ ПРИРОДНИХ І СТІЧНИХ ВОД

4.1. Розрахунок електрокоагуляторів для очищення стічних вод, що містять емульсовані масла

Електрокоагулятори горизонтального типу для очищення стічних вод, що містять емульсовані масла (відпрацьовані мастильно-охолоджувальні рідини) виконують з алюмінієвими пластинчастими електродами. Студенти проектують апарати періодичної та безперервної дії. Залежно від вимог до очищеної води технологічна схема може бути одно- та двоступеневою. Електрокоагулятори повинні мати патрубки для випуску та впуску води, видалення піни, вентиляційну систему для вилучення водню. Корпус електролізера з внутрішньої сторони покривається кислотозахисним шаром з епоксидних смол. Дно корпусу повинно мати нахил для виведення шламу. Електроапарат обладнується приладом для контролю рівня води. Об'єм рідини над електродами не повинен перевищувати 20% від загального об'єму електрокоагулятора.

Для дотримання вимог безпеки робота електрокоагулятора повинна бути зблокована з роботою вентилятора. У разі зупинення вентилятора передбачається припинення постачання електроенергії до електроапарата.

Після завершення електрохімічної обробки стічні води повинні відстоюватися не менше 60 хвилин. Підкислення стічних вод слід провадити соляною кислотою або розбавляти кислими стічними водами до величини $pH = 4,5-5,5$.

Залишковий вміст масел в очищеній воді при одноступеневій схемі не повинен перевищувати 25 мг/л.

Вихідні дані для розрахунку електрокоагулятора наведені в додатку 3.

4.1.1. Розрахунок електрокоагулятора періодичної дії

Відповідно до вимог якості очищеної води і вмісту масел у воді, що підлягає обробці, студенти самостійно визначають тривалість циклу очищення ($t_{оч}$) у межах 0,5-1,0 години. Для всіх варіантів завдання тривалість наповнення апарата рідиною та зливу рідини (t_2) приймають рівною 0,25 години. Час електрообробки (t_1) складає

$$t_1 = t_{оч} - t_2, \text{ год.} \quad (4.1)$$

Об'єм рідини в електрокоагуляторі визначають за формулою

$$W_{p.ел} = q_p \cdot t_{оч}, \text{ м}^3, \quad (4.2)$$

де q_p – продуктивність апарата, $\text{м}^3/\text{год}$.

Потім за табл. 4.1 знаходять питомі витрати електрики, $\text{А} \cdot \text{год.}/\text{м}^3$, залежно від початкової концентрації масел, $\text{г}/\text{м}^3$, і виконують розрахунок загальних витрат електрики, що необхідні для обробки об'єму рідини $W_{p.ел}$:

$$Q_{ел} = W_{p.ел} \cdot q_{нит.А.Л}, \text{ А} \cdot \text{год.} \quad (4.3)$$

Таблиця 4.1 – Технологічні параметри процесу електролізу

Технологічний параметр	Концентрація масел у стічних водах, г/м ³								
	2000	2500	3000	3500	4000	4500	5000	5500	6000
q _{ПИТ.А.Л.} А год./м ³	180	225	270	315	360	405	430	495	540
Q _{AL} , г/м ³	60	75	92	106	121	136	151	166	182

Потрібну величину струму в електричному ланцюгу визначають за формулою

$$J_{ел.л} = \frac{Q_{ел}}{t_1} \quad (4.4)$$

З урахуванням прийнятої густини струму (див. завдання) та встановленої вище величини струму знаходять площу робочої поверхні анодів за формулою

$$f_{ан} = \frac{J}{i}, \text{ м}^2 \quad (4.5)$$

або

$$f_{ан} = \frac{q_p \cdot q_{nut.ел}}{i}, \text{ м}^2. \quad (4.6)$$

Приймають товщину електродних пластин $\sigma = 4-8$ мм, величину міжелектродної відстані $\epsilon = 12-20$ мм та визначають об'єм ($V_{ЕК}$) і масу ($M_{ЕК}$) електродів:

$$V_{ЕК} = f_{ан} \cdot \delta, \text{ м}^3, \quad (4.7)$$

$$M_{ЕК} = V_{ЕК} \cdot \rho_{АЛ}, \text{ т} \quad (4.8)$$

де $\rho_{АЛ}$ – густина алюмінію – $2,7 \text{ т/м}^3$.

Маса електродного блока ($m_{БЛ}$) не повинна перевищувати 50 кг. Кількість блоків визначають за формулою

$$n_{БЛ} = \frac{M_{ЕК}}{m_{БЛ}}, \text{ шт.} \quad (4.9)$$

Об'єм рідини в міжелектродному просторі складає:

$$V_p = f_{ан} \cdot \epsilon, \text{ м}^3. \quad (4.10)$$

Тоді об'єм одного електродного блоку:

$$W_{БЛ} = \frac{V_{ЕК} + V_p}{n_{БЛ}}, \text{ м}^3. \quad (4.11)$$

Якщо прийняти форму електродного блока кубічною, то довжину ребра (l_p) знаходять за формулою

$$l_p = \sqrt[3]{W_{БЛ}}, \text{ м}, \quad (4.12)$$

а кількість електродів в одному блоці складає:

$$n_{ек} = \frac{l_p}{(\delta + \epsilon)}, \text{ шт.} \quad (4.13)$$

$$n_A = n_K = 0,5n_{ЕК}, \quad (4.14)$$

де n_A і n_K – кількість анодів і катодів.

Загальну довжину електролізера визначають з урахуванням кількості блоків та проміжків, що необхідні для розміщення електродів ($l_{\Pi} = 0,07\text{м}$), за формулою

$$L_{ЕЛ} = n_{БЛ} \cdot l_p + (n_{БЛ} + 1) \cdot l_{\Pi}, \text{ м.} \quad (4.15)$$

Якщо $L_{ЕЛ} > 3\text{м}$, то слід зменшити кількість блоків в електрокоагуляторі і прийняти для установки відповідну кількість електроапаратів.

Ширина електрокоагулятора ($B_{ЕЛ}$) складає:

$$B_{ЕЛ} = l_p + 2l_{\Pi}, \text{ м.} \quad (4.16)$$

Об'єм рідини в електрокоагуляторі на висоті верхнього краю електродів слід визначати за формулою

$$V_{Р.В.К.} = L_{ЕЛ} \cdot B_{ЕЛ} \cdot (l_p + l_{\Pi}) - V_{ЕК}, \text{ м}^3. \quad (4.17)$$

Тоді висота шару рідини (h_2) над електродами:

$$h_2 = \frac{W_{Р.ел} - V_{Р.В.К.}}{L_{ел} \cdot B_{ел}}. \quad (4.18)$$

Загальна висота шару рідини в електрокоагуляторі:

$$h_{Р.ЗАГ} = h_1 + h_2, \text{ м,} \quad (4.19)$$

де h_1 – висота шару рідини над рівнем верхнього краю електродів, м.

$$h_1 = \ell_n - \ell_p, \text{ м.} \quad (4.20)$$

Повну висоту електроапарата з урахуванням розміщення пристрою для відгону піни знаходять за формулою

$$H_{СЛ} = h_{Р.ЗАГ} + 0,32h_{Р.ЗАГ}, \text{ м.} \quad (4.21)$$

Загальні габарити електрокоагулятора

$$L_{ел} \cdot B_{ел} \cdot H_{ел} = x \cdot y \cdot z. \quad (4.22)$$

4.1.2. Розрахунок електрокоагулятора безперервної дії

Розрахунок електрокоагулятора безперервної дії проводять згідно з завданням на проектування. Розрахунковий об'єм стічних вод приймають за формулою (4.2), а витрати електрики на обробку розрахункового об'єму стічних вод знаходять за формулою (4.3). Умовні позначення відповідають позначенням пункту 4.1.1.

Струмове навантаження на електролізер:

$$J = \frac{Q_{EL}}{t_{oc}}, \text{ А.} \quad (4.23)$$

З урахуванням прийнятої величини густини струму знаходять загальну поверхню анодів за формулою 4.5, об'єм рідини в міжелектродному просторі (формула 4.10) та загальний об'єм електродів (формула 4.7).

Загальний об'єм, що займають електродні блоки, складає:

$$W_{EL.БЛ} = V_{ек} + V_p, \text{ м}^3. \quad (4.24)$$

Масу електродів визначають за формулою 4.8, а кількість електродних блоків – за формулою 4.9 відповідно до вимог пункту 4.1.1.

Приймають форму блока кубічною та визначають довжину його ребра:

$$l_p = \sqrt[3]{\frac{W_{EL}}{n_{БЛ}}}, \text{ м.} \quad (4.25)$$

Кількість електродів у блоці знаходять за формулою 4.13.

Габарити електрокоагулятора приймають за методикою пункту 4.1.1 з урахуванням пристрою для розподілу потоків води на вході й виході, згону піни. При цьому необхідно взяти до уваги, що в електрокоагуляторі безперервної дії між боковими стінками апарата та крайніми електродами не повинно бути проміжків для розміщення електродів. Отримані дані наводять у вигляді таблиці.

Таблиця 4.2 – Габаритні розміри електрокоагуляторів

Електрокоагулятор	L, м	B, м	H, м
Періодичної дії			
Безперервної дії			

Тривалість роботи одного електродного блоку ($T_{БЛ}$) визначають за формулою

$$T_{БЛ} = \frac{\rho \cdot f \cdot \delta \cdot n_{ЕК} \cdot K_{ЕК} \cdot 10^6}{24 \cdot q_{al} \cdot q_p}, \text{ доби,} \quad (4.26)$$

де ρ – густина матеріалу електродів, т/м³ (приймають $\rho_{Fe} = 7,86$, $\rho_{al} = 2,7$);

f – робоча поверхня електродної пластини, м²;

δ – товщина електродної пластини, м;

$n_{ек}$ – кількість електродів у блоці, шт.;

$K_{ек}$ – коефіцієнт використання матеріалу електродів (приймають рівним 0,6-0,9);

q_{al} – питомі витрати матеріалу електродів, г/м³ (для алюмінію – див. табл. 4);

q_p – розрахункова подача стічних вод, м³/год.

Витрати заліза на одиницю оброблюваної рідини визначають за формулою

$$q_{Fe} = K_{ЕК} \cdot e \cdot q_{ПИТ.Fe}, \text{ г/м}^3, \quad (4.27)$$

де e – електрохімічний еквівалент, г/А год (для Fe^{2+} приймають рівним 1,042, Fe^{3+} – 0,695, Al^{3+} – 0,336);

$q_{\text{пит. Fe}}$ – питомі витрати електрики, А·год/м³,

$q_{\text{пит. Fe}}$ знаходять за формулою

$$q_{\text{ПИТ. Fe}} = \frac{f_{\text{ан}} \cdot i}{q_p}, \quad (4.28)$$

де $f_{\text{ан}}$ – активна площа поверхні анодів, м².

4.2. Розрахунок електроапаратів для очищення стічних вод, що містять ціаніди та іони кольорових металів

Студенти виконують розрахунок електролізера для знешкодження стічних вод від ціанідів та електрокоагулятора зі сталйними електродами для очищення стічних вод цехів гальванічного виробництва, що містять іони металів. Стічні води цих категорій найбільш поширені в гальванотехніці та промисловості. Вихідні дані для розрахунку розміщені в додатках 4 і 5.

4.2.1. Розрахунок електролізера для обробки стічних вод, що містять ціаніди

Для знешкодження стічних вод із вмістом ціанідів використовують електролізери з анодами, що не піддаються електрохімічному розчиненню, виготовленими з графітонованого вугілля, титану з металооксидним покриттям (магнезит) зі сталйними катодами. Електроди з графітонованого вугілля, що випускаються заводами, мають форму плит з розмірами 1000 x 180 x 50 мм. Відстань між катодом та анодом слід брати в межах 40-50 мм. Стальні катода виконують з пластинчастими анодами товщиною 2-3 мм.

Електролізери являють собою відкриті або закриті кришкою, що знімається, прямокутні сталні резервуари, поділені за допомогою дірчастих перегородок з синтетичних матеріалів на декілька відсіків. У кожному з відсіків на дно електролізера вкладають дірчасті трубки з синтетичних матеріалів, через які надходить повітря для перемішування рідини.

При розрахунковій величині струму в електричному ланцюгу більше 3000А доцільно встановити декілька електролізерів, обладнаних автономними джерелами електроживлення.

Технологічна схема повинна включати:

- двосекційний резервуар – усереднювач (кожна секція розраховується на годинну подачу стічних вод);
- електролізер;
- випрямляч змінного електричного струму;
- бак для приготування лужного розчину (їдкий натр або сода);
- збірний бак для очищеної води.

В електролізер для очищення повинні надходити стічні води з вмістом ціанідів 100-1000 мг/л, кухонної солі 5-10 г/л. У разі необхідності додають лужний реагент для досягнення значення рН > 10.

Розрахунок апаратів безперервної та періодичної дії виконують за вихідними даними: продуктивність електролізера, початкова концентрація ціанідів, час електрохімічної обробки стічних вод.

Величину робочого струму (J) визначають за формулами

$$J = \frac{2,06 \cdot C_{\text{поч}} \cdot q}{\eta \cdot t_{\text{ел}}} \quad (4.29)$$

або

$$J = \frac{2,06 \cdot C_{\text{поч}} \cdot q}{\eta}, \quad (4.30)$$

де 2,06 – коефіцієнт питомих витрат електрики, А·год/г;

$C_{\text{поч}}$ – початкова концентрація ціанідів в стічних водах, г/м³;

η – вихід за струмом (у проекті приймається рівним 0,6-0,8);

$t_{\text{ел}}$ – час електрохімічної обробки стічних вод (у проекті приймають в межах 0,35-0,45), год.;

q – подача стічних вод, м³/год.

За значенням J знаходять тип випрямлювача, який виробляє постійний струм, близький до розрахункової величини.

Об'єм стічних вод в електролізері знаходять за формулою

$$W_{\text{CB}} = q \cdot t_{\text{ел}}, \text{ м}^3. \quad (4.31)$$

Загальна поверхня анодів

$$f_{\text{ан}} = \frac{J}{i_{\text{АН}}}, \quad (4.32)$$

де $i_{\text{ан}}$ – анодна густина струму (приймають рівною 100-150 А/м²).

Загальну кількість плит (анодів) з графітованого вугілля знаходять за формулою

$$N_{\text{АН}} = \frac{f_{\text{АН}}}{f'_{\text{АН}}}, \text{ шт.}, \quad (4.33)$$

де $f'_{\text{ан}}$ – загальна поверхня однієї стандартної плити ($f'_{\text{ан}} = 0,36 \text{ м}^2$).

Загальна поверхня катодів прирівнюється до загальної поверхні анодів. Габарити електролізера визначають розміром стандартних графітованих плит, їх розташування в резервуарі (ванні), об'єму стічних вод з урахуванням загального об'єму електродів, занурених у воду. Довжину електролізера можна знайти за формулою

$$L_{\text{ЕЛ}} = (\bar{b}_{\text{АН}} + \bar{b}_{\text{К}}) \cdot N_{\text{АН}} + \bar{e} \cdot (2N_{\text{АН}} + 1). \quad (4.34)$$

Масу електродного блоку електролізера ($M_{ел}$) визначають за формулою

$$M_{ел} = \rho_K \cdot f_K \cdot v_1 \cdot n_K + \rho_{ан} \cdot f_{ан} \cdot v_2 \cdot n_{ан}, \text{ Т}, \quad (4.35)$$

де ρ_K і $\rho_{ан}$ – відповідно густина катодного і анодного матеріалу, т/м³ (для графіту $\rho = 1,5$);

f_K і $f_{ан}$ – відповідно площа катода і анода, м² (для стандартної графітованої плити $f_a = 0,36$);

v_1 – товщина катода, м (для сталевих пластин 1-2 мм);

v_2 – товщина анода, м (для стандартної плити з графіту – 50мм),

n_K і $n_{ан}$ – відповідно кількість катодів і анодів в електродному блоці, шт.

Тривалість роботи електродної системи з графітових анодів ($T_{ан}$) складає:

$$T_{АН} = \frac{1,5 \cdot \kappa \cdot f_{ан} \cdot v_2 \cdot n_{ан}}{24 \cdot q_{гр} \cdot J} = \frac{11250 \cdot n_{ан}}{J}, \text{ доби}, \quad (4.36)$$

де κ – коефіцієнт використання графітованих анодів (приймають рівним 0,85);

$q_{гр}$ – спрацювання графіту (приймають рівним 85 мг/А·год);

J – величина робочого струму, А.

4.2.2. Розрахунок електрокоагулятора для очищення стічних вод, що містять іони кольорових металів

Корпус електрокоагулятора являє собою прямокутний резервуар, який виготовляють з синтетичних, кислотостійких матеріалів і обладнують вентиляційним пристроєм. Дно має ухил до 5° в бік входу стічних вод. Електродний блок виконують зі сталевих пластин товщиною (5) 3-6 мм, розташованих вертикально та паралельно один до одного. Початкова відстань між сусідніми електродними блоками повинна складати 5-10 мм. Маса електродного блоку не повинна перевищувати 50 кг. Час перебування стічних вод в електрокоагуляторі складає до 3 хвилин. Анодна густина струму знаходиться у межах 150-250 А/м².

Стічні води, що надходять до електрокоагулятора, повинні мати такі якісні показники:

- концентрація Cr^{6+} до 100 мг/л;
- загальний вміст іонів кольорових металів (Zn^{2+} , Cu^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cr^{3+}) до 100 мг/л при концентрації кожного не більше 30 мг/л;
- загальний солевміст не менше 300 мг/л;
- концентрація завислих речовин до 50 мг/л.

Величина рН стічних вод повинна складати при наявності в стічних водах одночасно:

1) Cr^{6+} , Cu^{2+} , Zn^{2+}

- 4-6 при концентрації хрому 50-100 мг/л;
- 5-6 при концентрації хрому 20-50 мг/л;
- 6-7 при концентрації хрому менше 20 мг/л.

2) Cr^{6+} , Ni^{2+} , Cd^{2+}

- 5-6 при концентрації хрому більше 50 мг/л;

- 6-7 при концентрації хрому менше 50 мг/л.

3) Cu^{2+} , Zn^{2+} , Cd^{2+} , (при відсутності Cr^{6+}) – більше 4,5.

4) Ni^{2+} , при відсутності Cr^{6+} – більше 7.

Швидкість руху води в міжелектродному просторі складає не менше 0,03 м/с. Питомі витрати електрики на вилучення одного грама Cr^{6+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , при наявності в стічних водах тільки одного компонента – відповідно 3,1; 2,0-2,5; 4,5-6,0; 6,0-6,5; 3,0-3,5 А·год.

Питомі витрати металевого заліза для вилучення зі стічних вод одного грама Cr^{6+} знаходяться в межах 2,0-2,5г, а при вилученні одного грама Ni, Zn, Си, Cd – відповідно 5,5-6,0; 2,5-3,0; 3,0-3,5; 4,0-4,5 г.

Розрахунок виконують у такій послідовності.

Величину струму в електричному ланцюгу знаходять за формулою

$$J_{\text{ел.л}} = q_p \cdot C_{\text{поч}} \cdot q_{\text{пит.ел}}, \text{ А}, \quad (4.37)$$

де q_p – продуктивність апарата, м³/год;

$C_{\text{поч}}$ – початкова концентрація компонента в стічних водах, що вилучається при електрохімічній обробці, г/м³;

$q_{\text{пит.ел}}$ – питомі витрати електрики, що необхідні для вилучення зі стічних вод одного г металу, А·год/г.

При наявності в стічних водах декількох компонентів та сумарній концентрації іонів важких металів менше 50% від концентрації Cr^{6+} , величину струму визначати за формулою (4.32). При цьому у формулу підставляють значення $C_{\text{поч}}$ та $q_{\text{пит.ел}}$ для шестивалентного хрому. При сумарній концентрації важких металів більше 50% від концентрації Cr^{6+} величину струму слід підвищити у 1,2 рази, а величину $C_{\text{поч}}$ та $q_{\text{пит.ел}}$ приймати для одного з компонентів для якого добуток цих величин є найбільшим.

Отримане значення $J_{\text{ел.л.}}$ використовують для вибору типового випрямляча змінного струму з близьким значенням величини струму.

Загальну поверхню анодів $f_{\text{ан}}$ визначають за формулою

$$f_{\text{заг}} = \frac{J_{\text{ел.л.}}}{i_{\text{ан}}}, \text{ м}^2. \quad (4.38)$$

Анодну густину струму ($i_{\text{ан}}$) слід приймати при сумарній концентрації Cr^{6+} та іонів важких металів в стічних водах до 80 мг/л, в інтервалі 80-100, 100-150, 150-200 мг/л відповідно 150, 200, 250 та 300 А/м².

Розміри однієї електродної пластини студенти приймають самостійно згідно зі значеннями, які наведені вище.

Поверхня одного електрода $f_{\text{ел}}$ складає:

$$f_{\text{ел}} = 2v \cdot h, \text{ м}^2. \quad (4.39)$$

Загальну кількість електродних пластин знаходять за формулою

$$N_{EL} = \frac{2f_{3AG}}{f_{EL}} \quad (4.40)$$

Загальна кількість електродних пластин в одному електродному блоці не повинна перевищувати 30 штук. При більшій розрахунковій кількості пластин необхідно передбачити декілька електродних блоків.

Робочий об'єм електрокоагулятора дорівнює:

$$W_{EL} = f_{3AG} \cdot \epsilon, \text{ м}^3, \quad (4.41)$$

де ϵ – відстань між сусідніми електродами, м.

Час перебування стічних вод в міжелектродному просторі електрокоагулятора (t) складає:

$$t = \frac{W_{EL} \cdot 3600}{q_p}, \text{ с.} \quad (4.42)$$

Питомі витрати металевого заліза $Q_{\text{пит Fe}}$ для обробки стічних вод визначають за формулою

$$Q_{\text{пит Fe}} = \frac{q_{Fe} \cdot C_{\text{поч}} \cdot q_p \cdot 24}{1000 \cdot k}, \quad (4.43)$$

де q_w – питомі витрати металевого заліза, г, для вилучення одного грама компонента зі стічних вод;

k – коефіцієнт використання матеріалу електродів, залежить від товщини електродних пластин (в проекті приймається $k = 0,6-0,8$).

Ширину одного електродного блока знаходять за формулою

$$B_{EL} = N_{EL} \cdot \delta + \epsilon \cdot (N_{EL} - 1), \text{ м.} \quad (4.44)$$

Довжину електрокоагулятора визначають залежно від кількості блоків у ванні. Висоту електролізера знаходять залежно від прийнятих розмірів пластин.

4.3. Розрахунок електрокоагулятора для очищення природних вод

Для обробки природних вод рекомендується використовувати пластинчастий електролізер з алюмінієвими електродами.

У результаті технологічного та конструктивного розрахунку електролізера студенти повинні визначити, дозу: алюмінію; силу струму, необхідну для здійснення процесу електрохімічного очищення; площу та товщину алюмінієвих електродів; систему з'єднання електродів; розміри електролізера.

Вихідними даними для розрахунку (додаток б) є: вид забруднення (каламутність, кольоровість, сполуки кремнію, сполуки заліза, розчинений кисень, водорості, бактерії); концентрація забруднення; продуктивність електрокоагулятора; коефіцієнт виходу за струмом; густина струму; напруга, яка подається на одну чарунку; якісні характеристики води (температура, рН, солеміст та ін.).

Годинні витрати алюмінію G_{al} , г/год, які необхідно ввести у воду при обробці, визначають за формулою

$$G_{al} = D_{al} \cdot q_p, \quad (4.45)$$

де D_{al} – доза алюмінію, г/м³;

Q – продуктивність електрокоагулятора, м³/год.

Потрібну дозу алюмінію визначають за його питомими витратами на вилучення забруднення (табл. 4.3). Вибір останнього здійснюють за рекомендацією викладача.

Сила струму J , А, що забезпечує розчинення алюмінію, складає:

$$J = \frac{G_{al}}{K \cdot \eta}, \quad (4.46)$$

де K – електрохімічний еквівалент алюмінію, що дорівнює 0,3356 г/(А·год);

η – вихід алюмінію за струмом.

Сумарну площу поверхні анода S_a , м² визначають за формулою

$$J = \frac{G_{al}}{K \cdot \eta}, \quad (4.47)$$

де i – густина струму, А/м².

Загальна кількість анодів в електролізері n_a

$$n_a = \frac{S_a}{S_1}, \quad (4.48)$$

де S_1 – площа пари електродів, м².

Оскільки в електролізері всі електроди однакові, площу пари електродів приймають за конструктивними міркуваннями за формулою

$$S_1 = 2a \cdot h_1, \quad (4.49)$$

де a – ширина електродної пластини (0,5-0,6), м;

h_1 – робоча висота електродних пластин (1,0-1,5), м.

Таблиця 4.3 – Питомі витрати алюмінію на вилучення окремих забруднень

Забруднення	Вимірювач	Попереднє очищення		Глибоке очищення	
		Al ³⁺ , мг	дільник	Al ³⁺ , мг	дільник
Каламутність	1 мг	0,04-0,06	0,005	0,15-0,20	0,01
Кольоровість	1 град	0,04-0,10	0,01	0,1-0,2	0,02
Сполуки кремнію	1 мг SiO ₂	0,2-0,3	0,02	1-2	0,2
Сполуки заліза	1 мг Fe	0,3-0,4	0,02	1,0-1,5	0,1
Розчинний кисень	1 мг O ₂	0,5-1,0	0,1	2-5	0,5
Водорості	1000 кл	0,005-0,025	0,005	0,02-0,03	0,002
Бактерії	1000 кл	0,01-0,04	0,005	0,15-0,20	0,01

Примітка. Наведені дані є справедливими для таких умов: температура води – 20°C; pH = 7,2; солевміст – 2,5 мг-екв/л; густина струму – 20 А/м². На практиці питомі витрати алюмінію уточнюють пробним коагулюванням.

Площу пари електродів необхідно підібрати так, щоб в результаті розрахунку n_a було цілим числом.

Після визначення кількості анодів знаходять загальну кількість електродів n_e :

$$n_e = 2 \cdot n_a + 1 . \quad (4.50)$$

У камерах основних блоків електрообробки використовують монополярну та біполярну системи з'єднання електродів (рис.4.1). Для більш повного використання електродного матеріалу та зниження пасивації електродів передбачається перемикання полярності струму (4 перемикання на годину).

З метою зниження співвідношення споживаного струму та напруги на затискачах електролізера, спрощення умов для монтажу електрокоагуляторів більш раціональним є використання біполярного з'єднання електродів.

Під час розрахунку вибір системи з'єднання електродів здійснюють враховуючи обмеження відносно напруги, що подається на електрокоагулятор. Так, напругу на електролізері для біполярної схеми з'єднання електродів Ш, В, знаходять за формулою

$$U_{\delta} = U_{\text{ч}} \cdot n_a , \quad (4.51)$$

де $U_{\text{ч}}$ – напруга, що подається на одну чарунку (3-4), В.

Для забезпечення правил техніки безпеки напруга на електролізері не повинна перевищувати 36 В. Оскільки в результаті останнього розрахунку дотримується умова $U_{\delta} \leq 36$ В, то приймається біполярна схема підключення електродів. У протилежному разі схема буде монополярною, а напруга на електрокоагуляторі складе:

$$U_M = U_{\text{ч}} , \quad (4.52)$$

де U_M – напруга на електролізері при монополярній схемі підключення електродів, В.

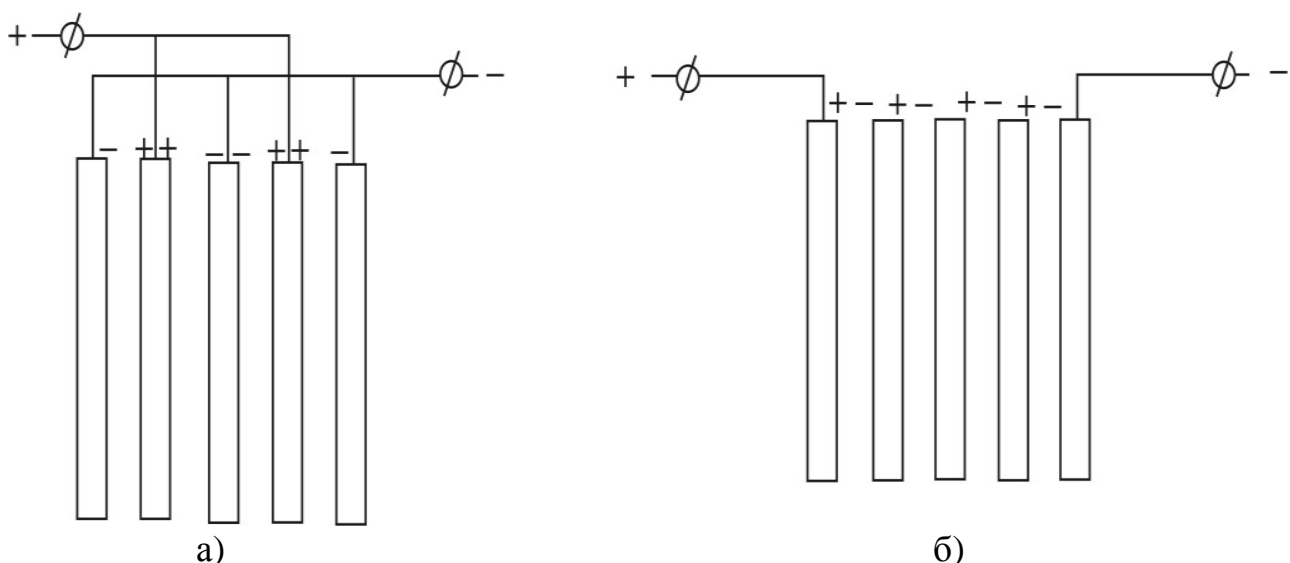


Рис. 4.1 – Схеми з'єднання електродів: а) монополярна; б) біполярна

Товщину електродів (δ , м) визначають за конструктивними міркуваннями з урахуванням переполюсування та 80% спрацювання

$$\delta = \frac{G_{al} \cdot R}{0,5 \cdot 0,8 \cdot \gamma \cdot S_a}, \quad (4.53)$$

де R – термін служби електродів, год.;

γ – питома маса металу електродів, г/м³ (для алюмінію $\gamma_{al} = 2,7$ г/см³).

Термін служби алюмінієвих електродів приймають таким чином, щоб в результаті розрахунку товщина електродів знаходилась в межах 3-5 мм.

$$B = b_1 + 2b_2, \quad (4.54)$$

де b_1 – ширина блоку електродів, м;

b_2 – відстань між крайніми електродами та стінками електролізера (20-30 мм), м.

У свою чергу ширина блоку електродів складає:

$$b_1 = 2n_a \cdot b_3 + \delta(2n_a + 1), \quad (4.55)$$

де b_3 – міжелектродна відстань (6-10 мм), м.

Довжину електролізера L , м, розраховують за формулою

$$L = a + 2\ell_1, \quad (4.56)$$

де ℓ_1 – відстань між блоком електродів та торцевими стінками електролізера (20-25 мм), м.

Висота електролізера H , м:

$$H = h_1 + h_2 + h_3, \quad (4.57)$$

де h_2 – висота частини електролізера над рівнем рідини (10-20 мм), м;

h_3 – відстань від краю апарата до електродів (приймають рівною 0,2-0,3 м).

Таким чином, загальний об'єм електролізера V_{3AG} , м³

$$V_{3AG} = B \cdot L \cdot H. \quad (4.57)$$

5. РОЗРАХУНОК ОБ'ЄМУ ВОДНЮ, ЩО ВИДІЛЯЄТЬСЯ У ПРОЦЕСІ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

Водень, що виділяється на катоді у процесі електролізу, може утворювати з повітрям виробничого приміщення вибухонебезпечну суміш. Нижня межа вибуховості складає 0,4 об'ємних процента водню в повітрі. Для гарантованого забезпечення безпеки гранично допустима вибухобезпечна концентрація (ГДВК) водню у виробничому приміщенні приймається рівною 0,04 об'ємних процента.

Об'єм водню (W_B), що виділяється на катодах при нормальному тиску, визначають за формулою

$$W_B = \eta_H \cdot C_W \cdot J \frac{273 + T}{273}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5.1)$$

де η_H – катодний вихід за струмом, рівний 0,90-0,95;

C_W – об'ємний електрохімічний еквівалент водню, рівний 0,00042 м³/А год;

J – величина струму, А;

T – температура стічних (природних) вод, °С.

Кількість водню W_P , який розчиняється у стічних (природних) водах, знаходять за формулою

$$W_P = q_p \cdot \frac{21,4 \cdot (273 + T)}{273 \cdot 10^3}, \text{ м}^3/\text{год}, \quad (5.2)$$

де q_p – подача стічних вод, м³/год;

21,4 – об'єм водню, що розчиняється в 1 м³ води при температурі °С та нормальному тиску.

Об'єм водню (W_H), що виділяється у виробничому приміщенні,

$$W_H = W_B - W_P, \text{ м}^3/\text{год}. \quad (5.3)$$

Концентрацію водню у виробничому приміщенні визначають за формулою

$$C_H = \frac{W_H}{K \cdot W_{\text{ПР}}} \cdot 100 \quad (5.4)$$

де K – кратність змін повітря у виробничому приміщенні протягом години;

$W_{\text{ПР}}$ – об'єм виробничого приміщення, в якому встановлені електроапарати, м³.

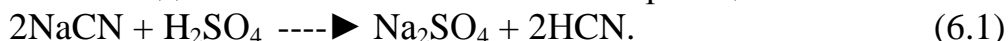
У виробничому приміщенні розрахункове ГДВК може досягати 0,04 об'ємних процента. Якщо C_H наближається до ГДВК, електроапарат обладнують автономним вентиляційним пристроєм.

6. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СХЕМИ ОЧИСНИХ СПОРУД

Принципову технологічну схему очисних споруд студенти розробляють індивідуально, залежно від прийнятої технології електрохімічного очищення та виду домішок, що вилучаються.

На рис.6.1 наведено загальну принципову технологічну схему, в якій знайшли відображення елементи різних технологічних рішень. Залежно від варіанта студенти повинні спростити або доповнити надану схему. Так, при обробці природних вод рекомендується після фільтра встановити резервуар чистої води, а при очищенні стічних вод вилучити фільтр із технологічної схеми. Крім того, у схемі можуть бути використані різні конструкції відстійників, а також різне реагентне господарство.

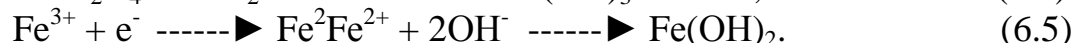
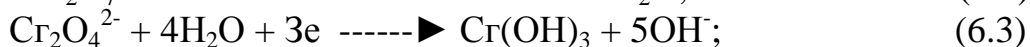
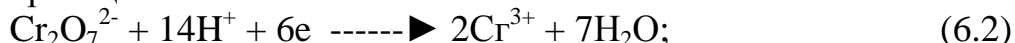
У процесі теоретичного обґрунтування застосування електрохімічного методу і типу апарата треба визначити особливості технологічного процесу, умови його здійснення. Необхідно показати переваги й недоліки альтернативних методів, що розглядаються студентами. Наприклад, для очищення стічних вод від ціанідів слід розглянути як альтернативні – окислення активним хлором, перманганатом калію, озоном та ін. Після цього показують необхідність окремого відведення стічних вод із вмістом ціанідів, хроматів та кислотно-лужних стічних вод від гальванічного цеху (ділянки), тому що при спільному відведенні в кислому середовищі утворюється надзвичайно токсична синильна реакція:



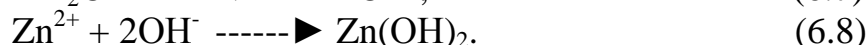
У свою чергу, це обумовлює застосування електроапаратів з розчинними або нерозчинними анодами для очищення стічних вод, що містять ціаніди та хромати.

Для очищення стічних вод із вмістом хрому як альтернативні методи необхідно розглянути іонообмінні, сорбційні, мембранні, реагентні методи або сполучення методів (електроліз-електродіаліз, іонний обмін-електроліз, електрокоагуляція-електроліз з нерозчинними анодами).

У технологічній частині необхідно показати сутність електрокоагуляційного методу та навести реакції:



За наявності у стічних водах іонів цинку на катодах і катодному просторі відбуваються такі реакції:



Таким чином, цинк осаджується на катоді у вигляді металевого цинку, випадає у вигляді гідроксиду або є розчинним (у межах розчинності).

Бажаним є подання у вигляді графіків кінетики процесу, зазначення оптимальних значень рН середовища, в тому числі для суміші Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cu^{2+} .

У методичних вказівках неможливо відобразити всі особливості електрохімічного очищення. Студенти повинні виявити творчий підхід на знання теорії процесу.

Для розробки принципової технологічної схеми очисних споруд рекомендується користуватися літературними джерелами, що наведено далі.

У джерелах [1-3] викладено загальні основи технології очищення природних та стічних вод. Крім того, при виконанні курсової роботи в залежності від варіанта найбільш доцільно користуватись такими джерелами:

- 1) природні води – [4-6, 9, 12, 13];
- 2) стічні води із вмістом хрому – [5, 8, 11-16];
- 3) мастильно-охолоджувальні рідини – [7, 10, 14, 15];
- 4) стічні води, які містять ціаніди – [14, 16].

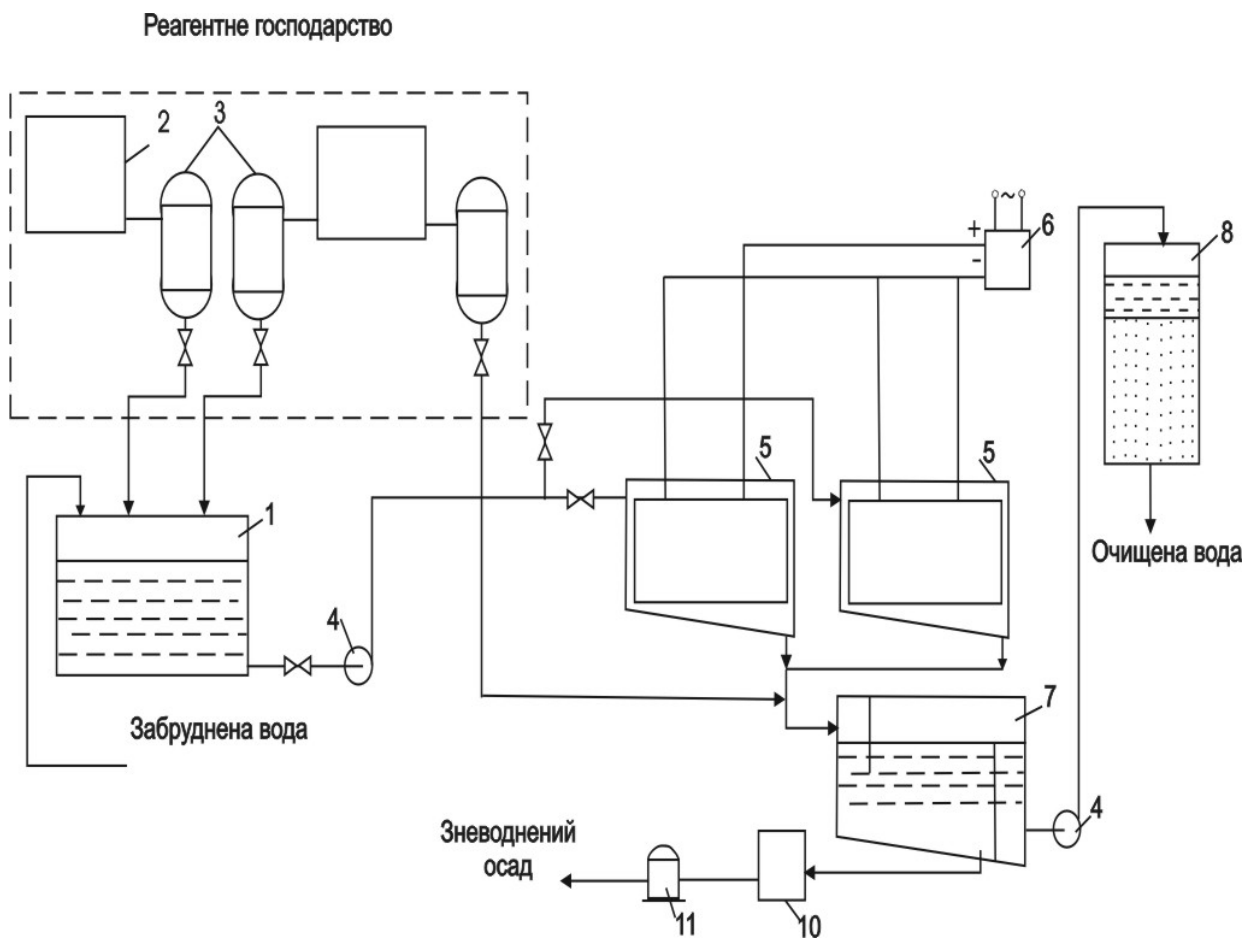


Рис.6.1 – Загальна принципова технологічна схема електрохімічного очищення води:

- 1 – резервуар-усереднювач;
- 2 – бак для насиченого розчину хлориду;
- 3 – дозатор;
- 4 – помпи;
- 5 – електрокоагулятори;
- 6 – джерело струму;
- 7 – відстійник;
- 8 – фільтр;
- 9 – бак лужного реагенту;
- 10 – накопичувач осаду;
- 11 – центрифуга.

Висновки

Ці методичні вказівки розроблені на засадах сучасних уявлень теорії електрохімічного очищення природних та стічних вод з використанням наявної розрахунково-нормативної бази для проектування електроапаратів різних типів. Наведена методика розрахунку може бути також використана в дипломному й реальному проектуванні пристроїв для електрохімічного очищення води, що містять забруднення природного та техногенного походження.

У висновках індивідуального завдання **студенти повинні відобразити:**

- виконання мети та поставлених завдань;
- результати теоретичного обґрунтування та вибору методу електрохімічного очищення, типу електроапарата;
- особливості системи водовідведення різних категорій стічних вод;
- доцільність об'єднання або роз'єднання потоків стічних вод;
- характеристику якості води за основними показниками до (після) очищення та вимоги до очищеної води;
- можливість повторного використання очищених стічних вод у технічному водопостачанні;
- основні технологічні параметри процесу очищення;
- дані про габарити апарата, питомі витрати електроенергії та металу, строк використання електродної системи;
- заходи щодо забезпечення безпеки роботи з електричним обладнанням;
- природозахисне та ресурсозберігаюче значення методу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод / А.К. Запольский, Н.А. Мішкова-Клименко, І.М. Астрелін та ін. – К.: Лібра, 2000. – 552 с.
2. Кульский Л.А. Основы химии и технологии воды – К.: Наукова думка, 1991. – 568 с.
3. Яковлев С.В., Красноборода И.Г., Рогов В.М. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, 1987. – 312 с.
4. Очистка воды электрокоагуляцией / Л.А.Кульский, П.П.Строкач, В.А. Слипченко, Е.И.Сайгак. – К.: Будівельник, 1978. – 112 с.
5. Грановский М.Г., Лавров И.С., Смирнов О.В. Электрообработка жидкостей. – Ленинград: Химия, 1976. – 216 с.
6. Кульский Л.А., Гребенюк В.Д., Савлук О.С. Электрохимия в процессах очистки воды. – К. Техніка, 1987. – 222 с.
7. Назарян М.М., Єфімов В.Т. Электрокоагуляторы для очистки промышленных стоков. – Харків: Вища школа, 1983. – 142 с.
8. Красноборода И.Г., Светашова Е.С. Электрохимическая очистка вод. – Л.: ЛИСИ, 1978. – 90 с.
9. Веселов Ю.С., Лавров И.С., Рукобратский Н.И. Водоочистное оборудование. – Л.: Машиностроение, 1985. – 232 с.
10. Надысев В.С. Электрический метод очистки сточных вод. – М.: Пищепром, 1974. – 36 с.
11. Соловьёв Г.С., Родионов А.И. Электрохимическая очистка сточных вод. – М.: МХТИ, 1982. – 46 с.
12. Надысев В.С., Безгина И.М. Опыт электрохимической очистки природных и сточных вод. – М.: ЦБНТИ Минводхоза СССР, 1979. – 34 с.
13. Апельцина Е.И. Электрохимические методы в технологии очистки природных и сточных вод. – М.: ЦИНИ Госстроя СССР, 1971. – 50 с.
14. Смирнов Д.Н., Генкин В.Е. Очистка сточных вод в процессах обработки металлов. – М.: Металлургия, 1989. – 224 с.
15. Рациональное использование и очистка воды на машиностроительных предприятиях / В.М. Макаров, Ю.П. Беличенко, В.С. Галустов, А.И. Чуфаровский. – М.: Машиностроение, 1988. – 272 с.
16. Запольский А.К., Образцов В.В. Комплексная переработка сточных вод гальванического производства. – К.: Техника, 1989. – 200 с.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**РОЗРАХУНКОВО-ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
ДО ІНДИВІДУАЛЬНОГО ЗАВДАННЯ
НА ТЕМУ:**

«Очищення природних і стічних вод електрохімічним методом»

Виконавець:
Студент групи _____

Підпис, прізвище, ім'я, по батькові

Харків – ХНАМГ – 200...

Харківська національна академія міського господарства

Кафедра _____
Дисципліна _____
Спеціальність _____
Курс _____ Група _____ Семестр _____

ЗАВДАННЯ
на виконання індивідуальних робіт студента

_____ (прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи

2. Термін здачі студентом закінченої роботи

3. Вихідні дані до розрахунку

4. Перелік питань, що підлягають розробці

5. Перелік графічного матеріалу

6. Дата видачі завдання

Додаток 3

Вихідні дані для розрахунку електрокоагулятора при очищенні стічних вод, які містять емульговані масла.

Технологічні параметри	Можливі варіанти	Інтервал варіювання	Кількість варіантів
Продуктивність апарата, q_p , м ³ /год	2,5-5,0	0,5	6
Початкова концентрація масел, $C_{\text{поч}}$, мг/дм ³	2000-6000	500	9
Час електрохімічної обробки, $t_{\text{оч}}$, год	0,35-0,65	0,05	7
Товщина електродів, δ , мм	4-8	1,0	5
Міжелектродна відстань, ϵ , мм	15-20	1,0	6
Анодна щільність струму, i , А/м ²	120-150	5,0	7
Періодичність роботи апарата	безперервна	—	1
	періодична	—	1
Матеріал, електродів	залізо	—	1
	алюміній	—	1

Додаток 4

Вихідні дані для розрахунку електролізера при очищенні стічних вод, що містять ціаніди.

Технологічні параметри	Можливі варіанти	Інтервал варіювання	Кількість варіантів
Продуктивність апарата, q_p , м ³ /год	1,5-6,0	0,5	10
Початкова концентрація ціанідів, мг/дм ³	100-500	50	9
Анодна густина струму, А/м ²	100-150	10	6
Товщина аноду, δ_a , мм	50	—	—
Товщина катоду, δ_k , мм	2	—	—
Матеріал електродів: а) анодів б) катодів	графітонова, не вугілля, залізо	— —	— —
Міжелектродна відстань, мм	40-50	5	3

Додаток 5

Вихідні дані для розрахунку електрокоагулятора при очищенні стічних вод, що містять хром та іони інших кольорових металів.

Технологічні параметри	Можливі варіанти	Інтервал варіювання	Кількість варіантів
Продуктивність апарата, q_p , м ³ /год	2-50	4	13
Концентрація Cr^{6+} , мг/дм ³ *	10-100	10	10
Анодна густина струму, i , А/м ²	150-250	10	11
Час електрохімічної обробки, $t_{оч}$, хв	1-3	1	3
Міжелектродна відстань, δ , мм	5-10	1	6
Матеріал електродів	залізо	—	—
Товщина електродів, δ , мм	3-6	1	4

* Концентрація іонів металів Zn^{2+} , Ni^{2+} , Cd^{2+} , Cu^{2+} , питомі витрати заліза та умови проведення електролізу визначають згідно з вимогами підрозділу 4.2.2.

Додаток 6

Вихідні дані для розрахунку електрокоагулятора при очищенні природних вод.

Технологічні параметри	Можливі варіанти	Інтервал варіювання	Кількість варіантів
Вид забруднення (концентрація)	каламутність (10-100 мг/л)	10 мг/л	10
	кольоровість (30-100°)	10°	8
	сполуки кремнію (5-20 мг/л)	5 мг/л	4
	сполуки заліза (5-25 мг/л)	5 мг/л	5
	розчинений кисень (2-8 мг/л)	2 мг/л	4
	водорості (100-400 тис. кол/л)	50 тис. кол/л	7
	бактерії (100-200 тис. кол/л)	20 тис. кол/л	6
Продуктивність електро-коагулятора q_p , м ³ /год	5	—	1
Коефіцієнт виходу за струмом, η	0,8-0,9	0,05	3
Густина струму, i , А/м ²	20	-	1
Напруга, що подається на одну чарунку $I_{ч}$, В	3-5	0,5	5
Якісні характеристики води (значення)	температура (+20 °С)	—	1
	pH (7,2)		1
	солевміст (2,5 мг-екв/л)		1

Навчальне видання

Методичні вказівки для виконання індивідуальних завдань з курсу **«Теоретичні основи технології очищення води»** (для студентів 3 курсу денної і заочної форми навчання напряму підготовки 6.060103 «Гідротехніка (Водні ресурси)»).

Укладачі: Берещук Микола Якович,
Тихонюк-Сидорчук Вікторія Олегівна

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Коректор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерний набір *В. О. Тихонюк-Сидорчук*

План 2008, поз. 15 М

Підп. до друку 16.11.07
Друк на різнографі.
Тираж 100 пр.

Формат 60*84 1/16
Ум. друк. арк. 1,8
Зам. №

Видавець і виготовлювач:
Харківська національна академія міського господарства
вул. Революції, 12, Харків, 61002
Електронна адреса: rectorat@ksame.kharkov.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:
ДК № 731 від 19.12.2001